核基地多核设施剂量约束设定与场址剂量管理探析

张晓峰[1]，熊小伟[2]，于家欢[1]，张爱玲[2]，赵锋[1]，张珊琦[3]

1（苏州热工研究院有限公司　苏州 215004）

2（生态环境部核与辐射安全中心　北京 100082）

3（中核能源科技有限公司　北京 100080）

摘要　公众个人剂量约束是我国核设施辐射影响评价与管理的一项重要指标。本研究面向多种类型核设施并存的核基地建设需要，通过系统调研分析国内外剂量约束管理要求与实践，特别是 IAEA 等机构有关通用剂量约束和特定剂量约束的建议及在主要核能国家的应用，结合我国监管实际，给出了核基地 $0.25 mSv \cdot a^{-1}$ 的剂量约束上限建议。同时，结合某核基地发展规划开展案例分析，基于各设施流出物排放与关键人群组的筛选和剂量评估，提出了多核设施剂量约束值的设定方法，最终给出合理可行的多核设施剂量约束值建议。

关键词：多核设施；剂量约束；剂量管理；关键人群组

中图分类号：TL929

DOI：

Allocation and management of dose constraint for multiple nuclear facilities in nuclear base

ZHANG Xiaofeng[1]，XIONG Xiaowei[2]，YU Jiahuan[1]，ZHANG Ailing[2]，ZHAO Feng[1]，ZHANG Shanqi[3]

1(*Suzhou Nuclear Power Research Institute Ltd., Suzhou, 215004, China*)

2(*Nuclear and Radiation Safety Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing, 100082, China*)

3(*Chinergy Co. Ltd, Beijing, 100080, China*)

第一作者：张晓峰，男，1982 年出生，2005 年毕业于南京大学，正高级工程师，研究领域为辐射环境监测与评价

通信作者：张晓峰，Email：snpizxf@126.com

First author: ZHANG Xiaofeng, born in 1982, graduated from Nanjing University in 2005,senior engineer,　focusing on radiological environmental monitoring and assessment.

Corresponding author: ZHANG Xiaofeng, Email: snpizxf@126.com.

Abstract **[Background]**Dose constraint to public member is an important indicator used in assessing and managing radiological impact of nuclear facilities in China. **[Purpose]**In this study, aiming at the actual needs of newly built nuclear base where various types of nuclear facilities coexist, **[Methods]** based on systematic research on the domestic and foreign requirements and practices of dose constraint management, especially the advices from IAEA about generic and specific dose constraint and their application in major nuclear power countries, and combined with the supervision exercise in China, the upper limit of dose constraint of 0.25mSv·a^{-1} for nuclear base is proposed. **[Results]** Meanwhile, one case analysis of a developing nuclear base was put forth. Combined with the effluent emissions of each facility and the screening and dose evaluation of candidate critical groups, the allocation method of the dose constraint of multiple nuclear facilities are proposed, and **[Conclusions]**finally a reasonable and feasible recommendation for the dose constraint of multiple nuclear facilities is given.

Key words Multiple nuclear facilities, Dose constraint, Dose management, Critical group

随着我国核工业蓬勃发展，在现有核设施周边规划新建数量不一、类型多样的涉核项目，建设核基地的做法已不鲜见。按照现有法规标准要求，多核设施核基地的环境保护应遵循统一运行管理、统一排放量申请、统一监测、统一应急的“四统一”管理要求[1]。剂量管理作为辐射防护管理的基础，对于多核设施的运行管理及外部监管是必不可少的。国内现有核设施相关剂量约束要求均针对单一类型核设施[1, 2]，缺少针对不同类型核设施的明确要求。即便在同一场址，不同类型核设施的源项释放、环境扩散、公众照射途径等也可能存在较大差异，因此对多核设施剂量约束的设定与优化的方法亟待开展研究。

本文旨在对国内外有关核设施剂量约束的管理要求进行系统梳理，并基于我国多核设施基地发展及核安全监管要求，结合具体场址实践，提出有关多核设施剂量约束值设定与优化的方法策略。

1 国内外核设施剂量约束管理要求

国际辐射防护委员会（ICRP）在 1990 年建议书中基于防护最优化范畴明确提出了剂量约束的概念，并同时建议了辐射防护的三原则，即实践或干预正当性、防护最优化和个人剂量/风险限值[3]。其后，ICRP 在 103 号出版物中明确剂量约束是适用于计划照射的防护最优化概念，与应急照射和现存照射下的参考水平相对应。同时，ICRP 建议对于公众的剂量约束应当设置为 1mSv.a^{-1} 或更少，较为理想的应设置为≤0.3mSv.a^{-1}[4]。

国际原子能机构（IAEA）在《公众与环境的辐射防护》中规定了有关剂量约束的详细内容[5]。例如（1）将剂量约束定义为代表一个基本的防护水平，它一直低于剂量限值，但不必要将其作为目标值，辐射防护最优化应当预期建立一个低于剂量约束的剂量水平；（2）明确单个特定源的剂量约束是确保来自所有源的计划照射对于受暴露的代表人的剂量之和低于剂量限值，在确定剂量约束时应当在设计或规划阶段考虑未来的潜在实践；（3）对于计划照射公众年剂量约束，应当在 0.01~<1mSv.a^{-1} 的范围。具体而言，IAEA《放射性流出物排入环境的审管控制》中指出，为了建立一般剂量约束，监管机构可考虑原子能机构以前的指导意见，即根据各国核燃料循环设施中通常用于优化的个人辐射量的最大水平，建议每年 0.3mSv.a^{-1} 作为恰当的默认值[6]。此外，IAEA 在《放射性废物处置》中也规定了每年 0.3mSv.a^{-1} 的剂量约束，以优化对公众的保护，用于处置设施的设计、建造、运行和关闭[7]。

基于应用于源的计划照射和辐射防护最优化的两方面原则，很多国家针对不同类型核设施设置了相应的剂量约束值[6, 8]，如表 1 所示，其中针对单一源的年剂量约束值基本设置在 0.05~0.3mSv.a^{-1}，与 ICRP、IAEA 等机构建议保持同一水平。

表 1 部分国家核设施对于公众的剂量约束值
Table 1 Public dose constraints for nuclear facilities adopted in selected countries

国家 Country	剂量约束值 Dose Constraint / $mSv \cdot a^{-1}$	核设施类型 Source	国家 Country	剂量约束值 Dose Constraint / $mSv \cdot a^{-1}$	核设施类型 Source
阿根廷 Argentina	0.3	核燃料循环设施 Uranium fuel cycle facility	美国 USA	0.25	核燃料循环设施 Uranium fuel cycle facility
比利时 Belgium	0.25	核反应堆 Nuclear reactor	加拿大 Canada	0.05	核反应堆 Nuclear reactors
意大利 Italy	0.1	压水堆 Pressurized water reactor	匈牙利 Hungry	0.09	核电厂 Nuclear power plant
卢森堡 Luxemburg	0.3	核燃料循环设施 Uranium fuel cycle facility	乌克兰 Ukraine	0.08	核动力堆 Nuclear power reactor
韩国 Korea	0.25	核电厂 Nuclear power plant	芬兰 Finland	0.1	核反应堆 Nuclear power reactor
荷兰 Netherlands	0.3	核燃料循环设施 Uranium fuel cycle facility	德国 Germany	0.3	核燃料循环设施（场址） Uranium fuel cycle facility (site)
捷克 Czech	0.25	核电厂 Nuclear power plant	日本 Japan	0.05	核反应堆 Nuclear reactors
瑞典 Sweden	0.1	核动力堆 Nuclear power reactor	英国 UK	0.3	核反应堆 Nuclear reactor
西班牙 Spain	0.3	核燃料循环设施 Uranium fuel cycle facility		0.5	核燃料循环设施（场址） Uranium fuel cycle facility (site)

公众个人剂量约束是我国核设施实施运行辐射影响管理四个层次之一[9]。《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》中明确剂量约束是与源相关的，被用作对所考虑的源进行防护和安全最优化时的约束条件，同时要求实践中任一特定源的剂量约束应不大于审管部门的规定值，并不大于可能导致超过剂量限值的原则[10]。相关核设施具体剂量约束值要求则在专项标准给出，对于核动力厂为 $0.25mSv.a^{-1}$[1]，铀加工与燃料制造设施为 $0.2mSv.a^{-1}$[2]，上述内容与国际标准要求总体一致，可用于指导相关核设施的辐射防护设计与最优化。

2 多核设施核基地剂量约束设定建议

随着国内现有核基地内开始布局或规划布局新类型核设施，现有针对单一类型核设施的剂量约束要求已不能适应核安全监管的需要，有必要考虑不同类型核设施共存的情形提出场址剂量约束管理要求。本节依据国内外相关要求与实践，对此必要性与可行性进行探讨，并提出相关建议。

首先，IAEA《放射性流出物排入环境的监管控制》提出，在同一地点存在多个设施或活动的情况下，简单以设施数目来分摊一般剂量约束可能并不合理。需要根据每一设施或活动对代表人所受剂量的具体贡献，为其设定一个特定剂量约束（specific dose constraint），以确保对每一个辐射源进行了最佳防护，所产生的剂量组合不超过剂量限值[11]。对于特定剂量约束，IAEA《设施和活动的预期辐射影响评价》建议[12]，“监管部门应当对单一设施或活动设置特定剂量约束，同时考虑附近或同厂址其他设施或活动对于代表人的剂量贡献。”“在监管早期，可将通用剂量约束值（generic dose constraint）与初始辐射剂量评价结果的比较。随后则应考虑设施的特定剂量约束。”因此，在通用的剂量约束之外，根据场址特征来堆场址内不同核设施及活动设置特定剂量约束是合理的。

对于多个设施或活动的特定剂量约束设定，可明确在其之下的各个源对关键人群组（或代表人）造成的有效剂量总和需低于剂量限值（$1mSv.a^{-1}$）。根据 IAEA 建议，估计由来自全球的、区域的和被豁免的源的总贡献所产生的最大未来剂量近似为每人每年 200μSv。剩

下的大约每年 800μSv 待积剂量可认为是剂量约束上限值[6]。在实践中，各国对于场址剂量约束（一般可视为场址的剂量约束上限值）的限定要比 IAEA 推荐值（0.8mSv.a^{-1}）更严格。例如英国规定源剂量约束值（source constraint）为 0.3mSv.a^{-1}，是应用于单个源计划运行未来排放和直接照射的约束值上限，场址剂量约束值（site constraint）0.5mSv.a^{-1} 是用于限制同场址相邻多个源计划运行的未来排放，但不包括直接照射[13]。西班牙针对核电厂和燃料循环设施的剂量约束值为 0.3mSv.a^{-1}，对单一核设施运行和退役排放的气液态流出物设置了 0.1mSv.a^{-1} 排放控制要求（discharge limit）[14]。美国和韩国针对包含多堆的核燃料循环设施场址设置了 0.25mSv.a^{-1} 的剂量控制要求（在实际操作中，该值按场址辐射环境容量的方式进行控制），同时针对单一类型反应堆也设置了气液态途径的全身剂量设计目标[15, 16]。此外，美国能源部（USDOE）针对 DOE 场址，规定了在场址外和控制区外居住的公众不超过 1mSv.a^{-1} 的总有效剂量（TED）限值，但也要求以不超过 0.25mSv.a^{-1} 的代表人受照剂量来评估暴露于 DOE 相关源对公众的剂量影响，当 DOE 源剂量大于 0.25mSv.a^{-1} 时，则应考虑包括 DOE 相关源和主要的非 DOE 相关源的共同照射影响[17]。

在我国，首先需要明确的是位于同一核基地内（通常设定在半径 5km 范围内）的各设施一般视为位于同一场址，满足 IAEA 提出的特定剂量约束和一般剂量约束要求。另一方面，我国尚无制订反应堆剂量设计目标的要求，现阶段以核电厂为代表的流出物排放设计源项主要基于 5GBq/t I-131 当量的一回路活度谱，虽是反映我国压水堆核电厂多年来的经验累积和我国对于核电厂正常运行源项框架体系的研究成果，但不能代表包含预期运行事件在内的核电厂所有运行状态，故基于排放源项正向推导出的剂量约束很低[9]，既不能满足大于 10μSv.a^{-1} 的要求，也对设施运行裕量考虑不足。因此，对于设施特定剂量约束应包含在场址一般剂量约束的范围内。本文在借鉴国外相关经验的基础上，同时考虑我国现有核基地的管理实践[18]，建议核基地场址的剂量约束上限值设置为 0.25mSv.a^{-1}。

3 多核设施剂量约束设定实践

3.1 基地各核设施概况

根据 GB6249-2011 要求，反应堆之间距离小于 5km 的厂址应作为同一核动力厂多堆厂址。本节所述核基地位于我国南海沿岸，现运行一座六台百万千瓦机组的商用核电厂，距核电厂约 3km 处运行一处核燃料研发实验平台（属三类核燃料循环设施）。此外，核电周边还有两项核设施在建，两项核设施正在前期申请中，规划后续建设三项核设施。各核设施概况见表 2，均位于核电厂已设置的半径 5km 规划限制区内（见图 1）。

表 2 列出了各设施流出物排放方式。各设施均采用烟囱作为气态流出物排放出口，从入海排污口集约化设置角度出发，各设施拟通过统一的基地排放口（即核电厂循环冷却水出口）排放液态流出物。为满足液态流出物在各设施间的转运要求，其放射性将处理至 GB8978-1996 或 GB5759-2022 相应要求后通过适当方式转运至基地排放口实施受控排放。

表 2 核基地内各核设施项目概况及流出物排放方式
Table 2 Overview and effluent discharge patterns of different nuclear facilities

核设施名称 Name	核设施类型 Type	状态 Status	气载/液态流出物排放方式 Discharge method of gaseous and liquid effluent
核电厂 A Nuclear power plant A	核动力厂 Nuclear power plant	在运 under operation	烟囱/循环冷却水排放口 Chimney/Cooling water outlet
设施 F Facility F	核燃料循环设施 Uranium fuel cycle facility	在运 under operation	烟囱/放射性处理达标后，送基地总排口排放 Chimney/Transported to outlet after processing
设施 B Facility B	放废处置设施 Radiowaste disposal facility	在建 under construction	运行期间无流出物排放 No effluent during operation
设施 C	核燃料循环设施	在建 under	烟囱/放射性处理达标后，送基地总排口排放

Facility C	Uranium fuel cycle facility	construction	Chimney/Transported to outlet after processing
反应堆 D Reactor D	实验堆 Experimental reactor	申请中 in application	烟囱/放射性处理达标后，送基地总排口排放 Chimney/Transported to outlet after processing
设施 G Facility G	核燃料循环设施 Uranium fuel cycle facility	申请中 in application	烟囱/放射性处理达标后，送基地总排口排放 Chimney/Transported to outlet after processing
核电厂 A（扩建） Nuclear power plant A（expansion）	核动力厂 Nuclear power plant	规划 planned	烟囱/循环冷却水排放口 Chimney/Cooling water outlet
设施 F（扩建） Facility F（expansion）	核燃料循环设施 Uranium fuel cycle facility	规划 planned	烟囱/放射性处理达标后，送基地总排口排放 Chimney/Transported to outlet after processing
反应堆 E Reactor D	研究堆 Research reactor	规划 planned	烟囱/放射性处理达标后，送基地总排口排放 Chimney/Transported to outlet after processing

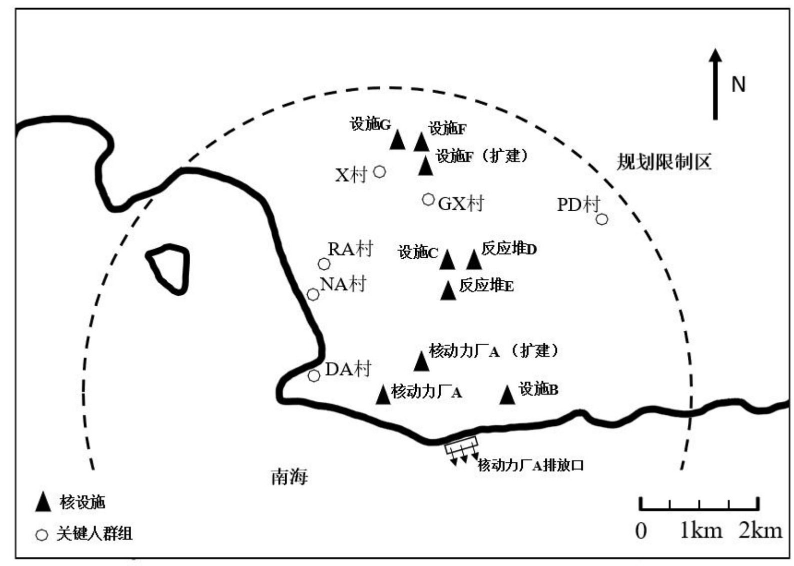


图 1 核基地内多核设施及关键人群组分布示意图
Fig. 1 Distribution of multiple nuclear facilities and candidate critical groups

3.2 关键人群组选择

长期以来 ICRP 一直使用“关键人群组”表征代表人群中受高辐照人员所接受剂量的个人，在新的建议书中 ICRP 使用“代表人”的概念等效取代“关键居民组的平均人员”[4]，但实际上，两者在剂量评估方面的概念基本相同，剂量也可使用相类似方法来计算[19]。ICRP 提出的代表人通常是一个厂址边界处的假设概念而不是实际居民，但在我国实践中，一般采用实际存在居民组作为关键人群组的筛选基础。

本文中关键人群组的筛选范围是核电厂 A 规划限制区，基于各项目已开展的环境影响评价结论，本文按如下原则从规划限制区内选取六处居民点作为剂量约束设定所考虑的关键人群组候选：（1）DA 村、GX 村、X 村分别为核电厂 A、设施 C 和设施 F 环境影响报告书中确定的关键人群组；（2）NA 村为核电厂 A 早期的关键居民组，毗邻核电厂 A 生活区；（3）RA 村、PD 村分别为基地偏西方位和东北方位人数较多的重要居民点。

表 3 列出了本项目所关注的关键人群组位置信息，各居民点分布情况同样见图 1。

表 3 核基地周边关键人群组的位置信息
Table 3 Location of candidate critical groups around nuclear base

核设施名称 Name	关键人群组相对各项目的方位/距离（km） Direction/Distance (km) between critical groups and facilities

	GX 村 GX County	X 村 X County	NA 村 NA County	RA 村 RA County	DA 村 DA County	PD 村 PD County
核电厂 A Nuclear power plant A	N/2.8	N/2.9	WNW/2.5	NW/2.3	W/2	NE/3.9
核电厂 A（扩建） Nuclear power plant A （expansion）	N/2.7	N/2.8	WNW/2.6	NW/2.2	W/2.2	NE/3.7
设施 C Facility C	NNW/0.8	NW/1.2	WSW/2.6	W/1.8	SW/3.1	ENE/2.5
反应堆 D Reactor D	NNW/0.9	NW/1.3	WSW/2.8	W/2.1	SW/3.3	ENE/2.3
反应堆 E Reactor E	NNW/0.8	NW/1.2	WSW/2.6	W/1.8	SW/3.1	ENE/2.5
设施 F（含扩建） Facility F （with expansion）	S/0.5	WSW/0.7	SW/3	SW/2.1	SW/3.9	ESE/2.6
G 设施 Facility G	S/0.6	SW/0.6	SW/3	SW/2.1	SW/4	ESE/2.9

注：设施 B 运行期间无流出物排放，故不在本表列出。

3.3 剂量计算与约束值设定

3.3.1 公众照射途径与剂量计算参数

本文采用 IAEA 推荐模型进行公众照射剂量计算[19]，各设施气载流出物排放后经大气弥散，通过空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入空气内照射和食入陆生食品内照射途径对厂址周围公众造成辐射影响，其中陆生食品包括粮食作物、蔬菜、肉类和牛奶。液态放射性流出物进入受纳水体（附近南海）后稀释扩散，通过水体浸没外照射、水上活动外照射、岸边沉积外照射和食入海产品内照射途径对厂址周围公众造成辐射影响，其中公众食入海产品包括鱼类、甲壳类、软体类和藻类。采用核电厂 A 自 2021 年 1 月至 2022 年 12 月的现场连续两整年气象观测数据，基于各设施烟囱、排放流量等设计参数计算得到年均大气弥散因子见表 4。剂量计算中使用的核素转移参数、剂量转换因子等来自相关文献[10, 19]，关键人群组食物消费量及生活习性数据来自于现场调查结果。

表 4 各设施在关键人群组处的年均大气弥散因子（s/m^3）
Table 4 Diffusion factors in the location of critical groups by nuclear facilities

核设施名称 Name	GX 村 GX County	X 村 X County	NA 村 NA County	RA 村 RA County	DA 村 DA County	PD 村 PD County
核电厂 A Nuclear power plant A	1.42E-07	1.42E-07	1.64E-07	1.42E-07	4.25E-07	5.68E-08
核电厂 A（扩建） Nuclear power plant A （expansion）	1.51E-07	1.51E-07	1.73E-07	1.52E-07	4.55E-07	5.97E-08
设施 C Facility C	5.56E-07	4.74E-07	4.74E-07	7.25E-07	2.51E-07	1.12E-07
反应堆 D Reactor D	7.33E-07	5.45E-07	5.09E-07	4.64E-07	2.61E-07	1.20E-07
反应堆 E Reactor E	7.89E-07	5.64E-07	5.18E-07	8.67E-07	2.64E-07	1.22E-07
设施 F（含扩建） Facility F （with expansion）	5.70E-08	1.47E-06	5.01E-07	5.01E-07	2.60E-07	3.29E-08
G 设施 Facility G	9.37E-09	3.39E-07	2.26E-07	2.26E-07	1.37E-07	3.37E-08

3.3.2 剂量约束的设定

在前述确定的整个核基地剂量约束上限值 0.25mSv.a-1 基础上，本文在设定设施剂量约束时充分基于各设施运行对于周边公众的剂量贡献，剂量贡献采用各设施流出物设计排放源项进行计算，这也和剂量约束与源相关的原则相符。对位于各设施不同子区内的六个潜在关键人群组，着重考虑各设施对其最大受照剂量的综合加权影响，在此基础上推算得出各设施剂量影响贡献的权重值，作为剂量约束初始设定的比例，具体如公式（1）所示。

$$w_i = \sum_{j=1}^{n} D_{ij} \Big/ \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} D_{ij} \qquad (1)$$

式中，w_i为第 i 个核设施剂量贡献权重值，D_{ij}为第 i 个核设施对第 j 个关键人群组成人组造成的最大个人有效剂量，n 为关键人群组总数，m 为多核设施基地核设施总数。

表 5 来自各设施的关键人群组受照剂量份额
Table 5 Quotient of exposure dose to critical groups from multiple nuclear facilities

关键人群组 Critical group	GX 村 GX County	X 村 X County	NA 村 NA County	RA 村 RA County	DA 村 DA County	PD 村 PD County	权重值 Quotient
各核设施总剂量（$Sv \cdot a^{-1}$） Total dose ($Sv \cdot a^{-1}$)	1.81E-05	1.88E-05	1.59E-05	1.69E-05	2.54E-05	5.57E-06	-
核电厂 A Nuclear power plant A	0.42	0.41	0.56	0.45	0.83	0.66	0.561
设施 F Facility F	0.36	0.23	0.21	0.32	0.07	0.16	0.222
设施 C Facility C	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.003
反应堆 D Reactor D	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.07	0.045
设施 G Facility G	0.13	0.08	0.07	0.06	0.02	0.05	0.066
核电厂 A（扩建） Nuclear power plant A（expansion）	0.00	0.10	0.03	0.03	0.01	0.01	0.030
设施 F（扩建） Facility F（expansion）	0.00	0.11	0.06	0.05	0.02	0.03	0.046
反应堆 E Reactor D	0.04	0.03	0.03	0.04	0.01	0.02	0.026

按照表 5 中各设施剂量贡献权重值，对 0.25mSv.a-1 的全厂剂量约束值进行比例设定。基于基地内核设施现状，优先对在运、在建和申请中的核设施进行剂量约束设定，再对理论计算值按三个原则进行优化调整，即（1）不超出理论计算的比例设定；（2）不超出已有的环评批复或申请值；（3）各核设施设定的剂量约束不低于 0.01mSv.a-1。据此，各设施剂量约束值设定建议如表 6 所示。其中，对于在建设施 B，虽然其运行期间无流出物排放，本文暂按独立核设施建议其剂量约束值设为 0.01mSv.a-1，但在实际情况中，其剂量约束也可根据监管部门要求，纳入周边设施（例如核电厂 A）一并考虑。此外，对于基地内规划建设的三个核设施，考虑其存在较大的设计不确定性，现阶段建议剂量约束值合并预留。

表 6 核基地多核设施剂量约束值设定建议（$mSv \cdot a^{-1}$）
Table 6 Proposal about dose constraints of multiple nuclear facilities in nuclear base

核设施项目 Nuclear facility	理论计算值 Theoretical calculation	环评批复/申请值 Approved/applying	建议值 Proposal
核电厂 A Nuclear power plant A	0.140	0.24	0.12
设施 B Facility B	-		0.01
设施 F Facility F	0.001	0.01	0.01

设施 C Facility C	0.056	0.05（申请中）	0.04
反应堆 D Reactor D	0.017	0.01（申请中）	0.01
设施 G Facility G	0.012	-	0.01
核电厂 A（扩建） Nuclear power plant A （expansion）	0.011	-	0.05（预留）
设施 F（扩建） Facility F（expansion）	0.008	-	
反应堆 E Reactor D	0.007	-	
合计 Summation	0.25	0.31	0.25

3.3.3 剂量约束设定可行性分析

考虑到核设施批准的排放限值通常不会造成源相关剂量超出剂量约束本身[6]，为给核设施运行留有相当裕量，基于表 6 建议，本文进一步分析各在运、在建核设施对关键人群组造成的最大个人有效剂量占比其特定剂量约束值的比例。结果显示，各设施对关键人群组的剂量贡献占比最大为 23.5%（设施 D），最小为 1.87%（设施 F）。因此，本文建议的剂量约束设定既可为各设施优化流出物排放设计、设置剂量管理目标、申请流出物年排放量等提供依据，也为各设施的运行保留了足够裕量，可以满足某多核设施基地规划实施的要求。

4 结语

本文在系统调研国内外剂量约束管理要求与实践的基础上，基于理论分析给出了某核基地中多核设施剂量约束值的设定建议，并通过设施运行后的公众辐射影响评估，确认剂量约束建议值合理可行。本文结果可为国内核基地中不同核设施的剂量约束设定提供参考，并可用于指导各设施的剂量目标和流出物排放量管理优化。

需要说明的是，剂量约束只是多核设施基地统一环境保护管理的内容之一。核基地还应充分考虑各设施自身设计与运行特点，从申请流出物年排放量、流出物排放管理、辐射监测、放废处理、事故应急等方面，统筹落实基地内各相关管理事项，以满足核安全与环境监管的要求。

参考文献：

1 环境保护部，国家质量监督检验检疫总局. 核动力厂环境辐射防护规定：GB6249-2011[S]. 北京：中国环境科学出版社, 2011.

Ministry of Environmental Protection, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People’s Republic of China. Regulations for environmental radiation protection of nuclear power plant: GB6249-2011[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011.

2 国家国防科技工业局. 铀加工与燃料制造设施辐射防护规定：EJ1056-2018[S]. 北京：核工业标准化研究所, 2019.

State Administration of Science, Technology and Industry for National Defence. Regulations for radiation protection for uranium processing and fuel fabrication facilities: EJ1056-2018[S]. Beijing: Nuclear Industry Standardization Research Institute, 2019.

3 ICRP. Recommendation of the international commission on radiological protection 1990, ICRP Publication 60[R]. Oxford (UK): Pergamon Press, 1991.

4 ICRP. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection, ICRP

Publication 103[R]. Oxford (UK): Elsevier, 2007.
5 IAEA. Radiation protection of the public and the environment, IAEA Safety Standards Series No. GSG-8[R]. Vienna: IAEA, 2018.
6 IAEA. Regulatory control of radioactive discharges to the environment, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.3[R]. Vienna: IAEA, 2000.
7 IAEA, Disposal of radioactive waste, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5[R]. Vienna: IAEA, 2011.
8 Kim S Y, Cheong J H. Derivation of a new dose constraint applicable to radioactive discharges from Korean nuclear power plants through retrospective dose assessment[J]. Nuclear Engineering and Technology, 2022, 54, 3660-3671. DOI: 10.1016/j.net.2022.05.010.
9 王晓亮，郑平辉，郑伟. 华龙一号核电厂公众辐射剂量优化设计目标值研究[J]. 辐射防护，2019，39（3）：177-183.
WANG Xiaoliang, ZHENG Pinghui, ZHENG Wei. Optimization study on the design objective of public radiation dose for HPR1000 nuclear power plants[J]. Radiological Protection, 2019, 39(3): 177-183.
10 国家质量监督检验检疫总局. 电离辐射防护与辐射源安全基本标准：GB18871-2002[S]. 北京：中国标准出版社, 2003.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Basic standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources: GB18871-2002[S]. Beijing: China Standard Press, 2003.
11 IAEA. Regulatory control of radioactive discharges to the environment, IAEA Safety Standards Series No. GSG-9[R]. Vienna: IAEA, 2018.
12 IAEA. Prospective radiological environmental impact assessment for facilities and activities, IAEA Safety Standards Series No. GSG-10[R]. Vienna: IAEA, 2018.
13 UKEA. Principles for the assessment of prospective public doses arising from authorised discharges of radioactive waste to the environment[R]. Cumbria: Environment Agency, 2012.
14 OSPAR Commission. Implementation report of PARCOM recommendation 91/4 on radioactive discharges - Spain[R]. London: OSPAR Commission, 2011.
15 Congel F J. Methods for demonstrating LWR compliance with the EPA uranium fuel cycle standard (40 CFR Part 190) NUREG-0543[R]. Washington, DC: USNRC, 1980.
16 Kong T Y, Kim H G, Ko J H, et al. A dose constraint proposal for members of the public taking into account multi-unit nuclear power plants in Korea[J]. Journal of Nuclear Science and Technology, 2015, 52(5): 739-747. DOI: 10.1080/00223131.2014.969347.
17 US Department of Energy. Radiation protection of the public and the environment. DOE Order O 458.1[S]. Washington D.C.: USDOE 2011.
18 岳维宏，谢健伦. 中国原子能科学研究院地区地表水环境辐射容量[J]. 原子能科学技术，1996，30（5）：385-391.
YUE Weihong, XIE Jianlun. The study on environmental radiation capacities of the surface water within the area of China Institute of Atomic Energy (CIAE)[J]. Atomic Energy Science and Technology, 1996, 30(5): 385-391.
19 IAEA. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment, IAEA Safety Reports Series No. 19[R]. Vienna: IAEA, 2001.